

**ВТОМНЕ РУЙНУВАННЯ СПЛАВУ АМг6  
ПРИ НИЗЬКОАМПЛІТУДНОМУ НАВАНТАЖЕННІ****Я.О. Ковальчук****LOW CYCLE FATIGUE OF ALLOY AMg6****Ya.O.Kovalchuk***Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя*

**Abstract** The influence of preliminary plastic tensile - compression deformation (PPD) on threshold of AMg6 alloy is investigated. The dependence between roughness of fracture surface, distance between grooves and threshold stress intensity factor (SIF) range is obtained. The general data of the influence of preliminary plastic deformation on threshold crack resistance are obtained based on the analyses of both self obtained results and results of other authors. The classification of materials by the criteria of sensitivity of threshold crack resistance to preliminary tensile - compression plastic strain.

Застосування методів обробки матеріалів тиском (вальцювання, штампування, кування, холодна висадка і ін.) під час виготовлення деталей машин відбувається внаслідок формування в матеріалі пластичної деформації. Зумовити пластичну деформацію можуть і експлуатаційні навантаження (пікові експлуатаційні навантаження та аварійні перевантаження). Оскільки за даними інших авторів відомо про зміну характеристик циклічної тріщиностійкості матеріалів під впливом пластичного деформування, то метою роботи було саме виявлення особливостей поведінки сплаву АМг6 як в первісному, так і деформованому стані під впливом низьких навантажень. Такі навантаження відповідають високоінтенсивним експлуатаційним зусиллям. Маючи такі результати можна вказати допустимі режими експлуатації та прогнозувати ресурс роботи матеріалу. Сплав АМг6 застосовується для виготовлення відповідальних деталей в авіації, ракетній техніці, транспортному машинобудування, тому для дослідження вибраний саме він.

**Матеріали і методика випробувань.** Досліджували алюмінієво-магнієвий сплав АМг6, який при 293К мав такі характеристики механічних властивостей:  $\sigma_{0,2}=210$  МПа,  $\sigma_b=368$  МПа,  $\delta=22\%$ ,  $\psi=34\%$ .

Вплив ППД на пороговий КІН досліджували за одновісного розтягування плоских зразків з боковою тріщиною, робоча ділянка яких мала поперечний переріз 10x24 мм. Зразки виготовляли з вальцьованого циліндричного прутка діаметром 32 мм. Гладкі зразки піддавали попередньому пластичному деформуванню одновісним статичним розтягуванням (стискуванням). Рівень залишкової деформації після ППД розтягу (стиску) був  $\epsilon_n = +0,106$  і  $-0,102$  і не перевершував максимальної рівномірної пластичної деформації. Після цього робили надріз і вирощували початкову тріщину. Дослідження поширення втомної тріщини на припороговій ділянці виконували згідно нормативних вимог [12]. Крім того випробуванням піддавали і зразки з первісного (недеформованого) матеріалу.

Рівень попередньої пластичної деформації визначали за формулою

$$\epsilon_n = \ln(1/I - \psi_n), \quad (1)$$

де  $\psi_n = \Delta F/F_0$  - відносне зменшення площі поперечного перерізу робочої ділянки зразка після попереднього пластичного деформування;  $\Delta F$  - абсолютне зменшення площі

поперечного перерізу робочої ділянки зразка після попереднього пластичного деформування;  $F_0$  - площа поперечного перерізу зразка до деформування.

Втомні тріщини ініціювались на сервогидравлічній випробувальній машині типу СТМ-100 з керуючою ЕОМ IBM PC/AT при контрольованому розмахові зусилля з коефіцієнтом асиметрії циклу навантажування  $R=0,1$  та  $R=0,7$  і температурі 293К згідно з рекомендаціями [1] з поступовим зниженням навантаженням. Частота навантажування становила 50 Гц.

Після руйнування зразків проводили перерахунок координат залікових точок з врахуванням поправки на кривизну фронту тріщини.

Шорсткість поверхні руйнування для досліджуваних зразків визначали по профілограмі, отриманій на профілометрі-профілографі моделі ПП-225 вздовж поверхні руйнування по осі злому і біля його берегів при вертикальному підсиленні приладу  $\times 1000$  і горизонтальній розгортці профілю  $\times 20$ . При цьому використовувалась щуп-голка з радіусом робочої частини  $0,01^{+0,002}$  мм.

### Результати експериментів та їх аналіз

Виявлено, що для сплаву АМг6 ППД різних напрямків знижує розмах порогового КІН  $\Delta K_{th}$  в порівнянні з недеформованим матеріалом (рис. 1, табл. 2). Причому, більш суттєве зниження (приблизно в 1,5 рази) спостерігається після стискування. Розмах ефективного порогового КІН  $\Delta K_{th\,eff}$  практично не залежить від попередньої деформації розтягуванням, проте знижується в 2 рази після ППД стискуванням  $\epsilon_{п} = -0,102$ . При підвищенні коефіцієнта асиметрії циклу навантажування від  $R=0,1$  до  $R=0,7$  відбувається зменшення значень  $\Delta K_{th}$  до рівня  $\Delta K_{th\,eff}$  при  $R=0,1$ . Закриття тріщини при цьому відсутнє. При  $R=0,7$   $\Delta K_{th}$  у всіх випадках менше відповідних значень для  $R=0,1$ .

Отже, вплив ППД на пороговий КІН не у всіх випадках опосередкований закриттям втомної тріщини.

Проведений аналіз впливу шорсткості поверхні руйнування на механізм поширення втомної тріщини на пороговій ділянці діаграми втомного руйнування (рис. 2, табл. 1). Крива, що характеризує максимальну висоту профілю  $R_{max}$  від напрямку і рівня ППД має форму, подібну до залежності  $\Delta K_{th} = f(\epsilon)$  з максимумом при  $\epsilon = 0$ . Це свідчить про прямий вплив шорсткості поверхні руйнування на порогову тріщиностійкість досліджуваного матеріалу.

Таблиця 1

Порогові характеристики сплаву АМг6

$\epsilon$	$K_{th\,op}, \text{МПа}\sqrt{\text{м}}$	$\Delta K_{th\,eff}, \text{МПа}\sqrt{\text{м}}$	$\Delta K_{th}, \text{МПа}\sqrt{\text{м}}$	$R_{max}, \text{мкм}$	$S_m, \text{мкм}$
0	1,93	2,76	4,69	115	0,28...0,34
+0,1	1,72	2,10	3,82	100	0,88...1,06
-0,1	1,16	1,57	2,73	85	0,26...0,32

При аналізі результатів мікрофрактографічного обстеження зламів на ділянках з припороговими режимами поширення втомної тріщини (рис. 2) виявлено, що крок втомних борозенок значно збільшується при підвищенні ППД розтягуванням і помірно зменшується при ППД стискуванням.

Зміна порогових характеристик втомного руйнування від кроку борозенок відбувається по С-подібній залежності (рис. 3), тобто в межах від мінімального до максимального значення кроку знаходимо по два відповідних значення розмахів порогових КІН. Враховуючи ці дані, а також те, що частка борозенчастого механізму при втомному руйнуванні сплаву АМг6 незначна [2], можна зробити висновок про відсутність взаємозв'язку між  $K_{op}$  і  $S_m$ .

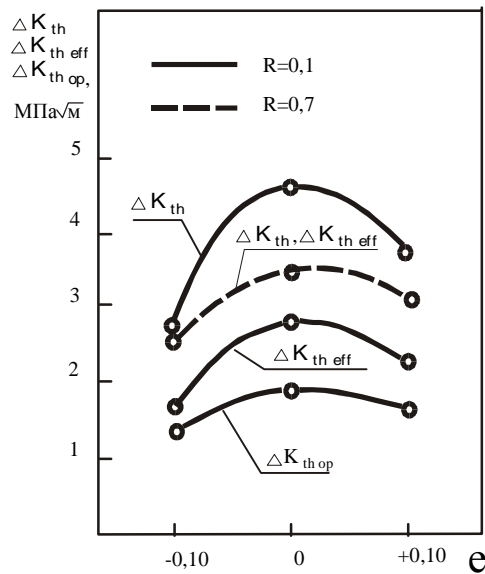


Рис.1. Залежність порогових КІН сплаву АМг6 попередньої пластичної деформації

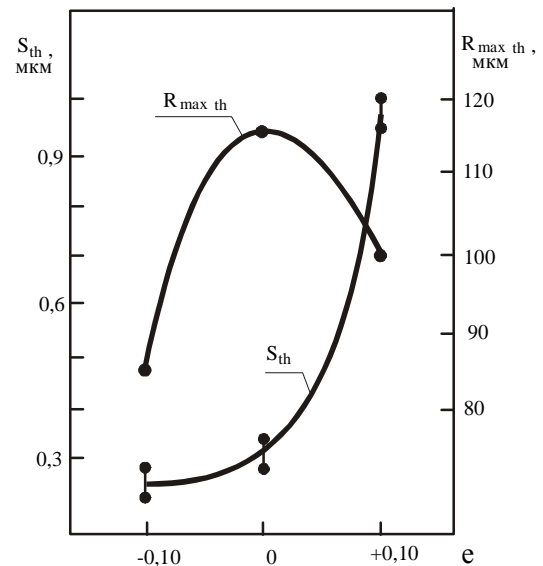


Рис.2. Залежність шорсткості поверхні руйнування та кроку втомних борозенок сплаву АМг6 при порогових КІН від попередньої пластичної деформації

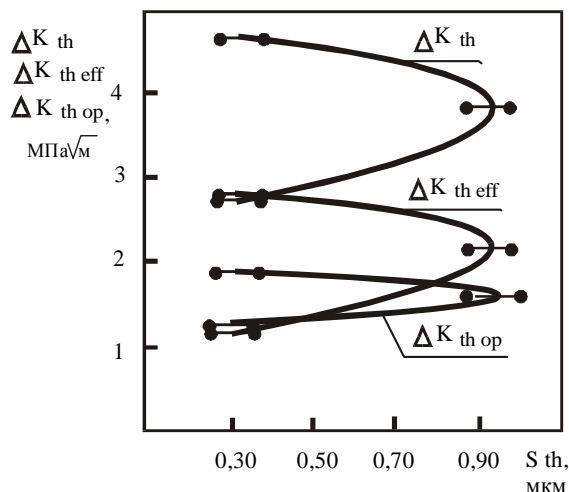


Рис.3. Залежність порогових КІН для сплаву АМг6 від кроку втомних борозенок

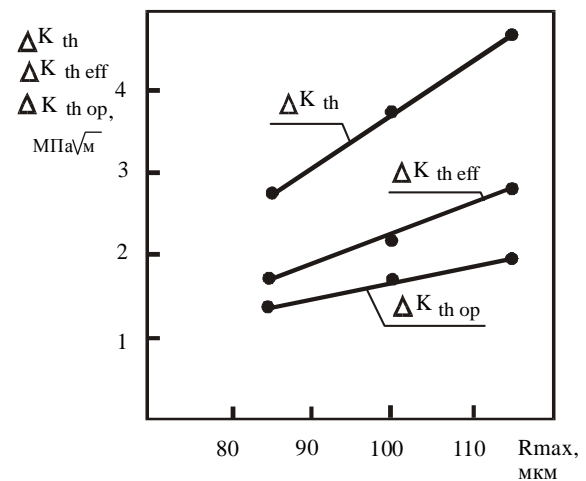


Рис.4. Залежність порогових КІН для сплаву АМг6 від шорсткості поверхні руйнування

Отже, на підставі отриманих експериментальних результатів і їх аналізу можна прийти до висновку, що вирішальним фактором впливу на характеристики порогової тріщинотривкості в сплаві АМг6 у первісному стані та після осьового розтягування й стискування є шорсткість поверхні руйнування. Причому, як очевидно з рис. 4, шорсткість поверхні руйнування, а саме параметр  $R_{\max}$ , прямопропорційно змінює порогові характеристики для сплаву АМг6. Основний вплив  $R_{\max}$  на  $\Delta K_{th}$  визначає зміна  $\Delta K_{th \text{ eff}}$ , оскільки із зміною  $R_{\max}$  величина  $\Delta K_{th \text{ op}}$  змінюється незначно.

Детальний аналіз кількісних показників структурної концепції порогів втоми дає можливість прийти до висновку, що зміна величини розмаху порогового КІН під впливом ППД здійснюється, в основному, за рахунок зміни  $\Delta K_{th \text{ eff}}$ , яка зумовлена гілкуванням тріщини в процесі її поширення, та величиною розкриття вістря тріщини (радіусом вістря тріщини). При зміні величини ППД від -0,1 до +0,1 та при  $\epsilon=0$  згадані

показники змінювалися відповідно в 2,07 та в 1,75 разів. Разом з тим  $\Delta \bar{\sigma}_{th}$  змінювалося лише в 1,2, а  $\Delta K_{th\ op}$  в 1,3 рази.

Табл. 2

Порогові характеристики тріщиностійкості сплаву АМг6  
з врахуванням впливу ППД

$\varepsilon$	$\Delta K_{th\ eff}$ МПа $\sqrt{м}$	$\alpha$	$\delta_{th}$ мкм	$\rho_{th}$ мкм	$\Delta \bar{\sigma}_{th}$ МПа	$\Delta K_{th\ op}$ МПа $\sqrt{м}$	$\Delta K_{th}$ МПа $\sqrt{м}$	$\Delta$ %
0	2,76	1,00	0,6	0,30	160	1,93	4,69	4,05
+0,1	2,10	1,31	0,4	0,20	174	1,72	3,82	6,30
-0,1	1,57	2,07	0,7	0,35	152	1,16	2,73	4,76

### Висновки

1. Квазістатичне ППД осьовим розтягуванням до рівня  $\varepsilon=0,1$  знижує  $\Delta K_{th}$  сплаву АМг6 на 26% в порівнянні з первісним станом матеріалу, а  $\Delta K_{th\ eff}$  на 24%. Попереднє деформування стискуванням до такого ж ступеня понижує ці характеристики відповідно на 42% і 53%.

2. Збільшення шорсткості поверхні руйнування за параметром  $R_{max}$  для сплаву АМг6 майже не впливає на  $\Delta K_{th\ op}$  і значно збільшує  $\Delta K_{th\ eff}$ . У відповідності з концепцією порогів втоми збільшення  $\Delta K_{th\ eff}$  зумовлене гілкуванням тріщини, величина якого визначає шорсткість поверхні руйнування. Виявлені залежності порогових характеристик тріщиностійкості від параметрів шорсткості дають можливість використовувати їх для експертної оцінки поверхонь руйнування з метою відтворення історії навантажування зруйнованого об'єкта.

### Література

1. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Определение характеристик трещиностойкости при циклическом нагружении. Методические указания. РД 50-345-82. М, Изд. стандартов, 1983.-96с.
2. Ясній П.В., Ковальчук Я.О., Степаненко В.О. Вплив попередньої пластичної деформації на мікромеханізми руйнування сплаву АМг6 // Вісник Тернопільського державного технічного університету.-1998.- №3.- С 15-23.